

ハイブリッドシステム用分散制御シミュレータと実システムとのネットワーク通信特性に関する相関性検証

旭川工業高等専門学校 ○戸村 豊明
 北海道大学 金井 理
 北海道大学 岸浪 建史

要 旨

近年、FA・BA・車載 LAN 等の分野において分散制御システム (DCS) が導入され始めている。本報では、ネットワーク通信特性の予測を目的として、通信プロトコルモデルの記述および並列離散事象シミュレーション機構のためのオブジェクト指向デザインパターンを提案し、これらを用いて記述された CAN プロトコルモデルによる DCS シミュレーションの結果と実システムにおける通信との相関性を検証する事により、提案されるパターンの有用性を示す。

1. はじめに

近年、FA・BA や自動車内 ECU 間通信 (以下、車載 LAN) の分野において、図 1 に示すように、多数の制御ノードをオープン規格ネットワークで相互接続した分散制御システム (DCS) が導入され始めている。

車載 LAN 用 DCS において、通信遅れの増大やパケット損失の発生は、高信頼性と高速応答が要求されるパワートレイン系やセーフティ系の作動を妨げる原因となる。ゆえに、各制御ノードの通信パラメータを効率的に調整できるように、DCS シミュレータを用いて、通信特性を高精度に予測したいという要求が高まっている。

前報¹⁾では、並列離散事象シミュレーションの一手法であるタイムワープ機構²⁾と、低速・中速向け車載 LAN において普及している CAN (Controller Area Network)³⁾のプロトコルモデルを DCS モデルへ組み込み、任意時刻における DCS の通信特性を予測する手法を提案した。

一方、多種多様な通信プロトコルに適用できるように、上記のタイムワープ機構とプロトコルモデルは、前々報の DCS モデルと同様に、オブジェクト指向デザインパターンを用いて統一的に記述される必要がある。

そこで本報では、通信プロトコルモデルの記述および並列離散事象シミュレーション機構のためのデザインパターンを提案し、CAN プロトコルモデルを用いたシミュレーション結果と実システムにおける通信との相関性を検証する事により、それらのパターンの有用性を示す。

2. 本研究で提案する DCS シミュレーション手法

本研究で提案する DCS シミュレーション手法の概要を図 2 に示す。本手法におけるセンサ・アクチュエータ・制御対象の動的挙動は、Statechart の各状態に対して微分代数方程式 (DAE) を定義したハイブリッド Statechart として記述できる。ハイブリッド Statechart を実装するために、本報ではこれまで提案してきた Statechart パターンを拡張している。これにより、各 DAE は、べき級数表現された変数と演算子からなる二分木として実装できる。DAE ソルバは、各時間ステップにおいて、各モデルの状態遷移の可否を評価した後、DAE の解を数値計算する⁴⁾。

- 本報では、以下のデザインパターンを新たに提案する。
- **Protocol パターン** : デバイスモデルにおける各種の通信プロトコルの構造と挙動を記述する。
 - **Time-Warp パターン** : イベントの送信・受信時刻に基づき、各モデルの局所仮想時刻²⁾を同期させる。

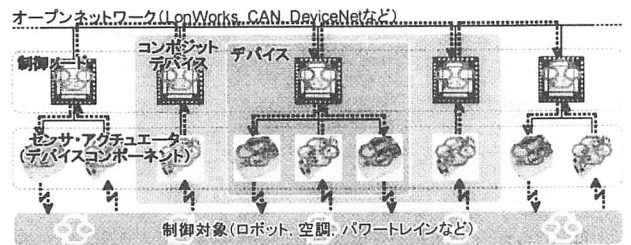


図 1. 一般的な DCS の構造

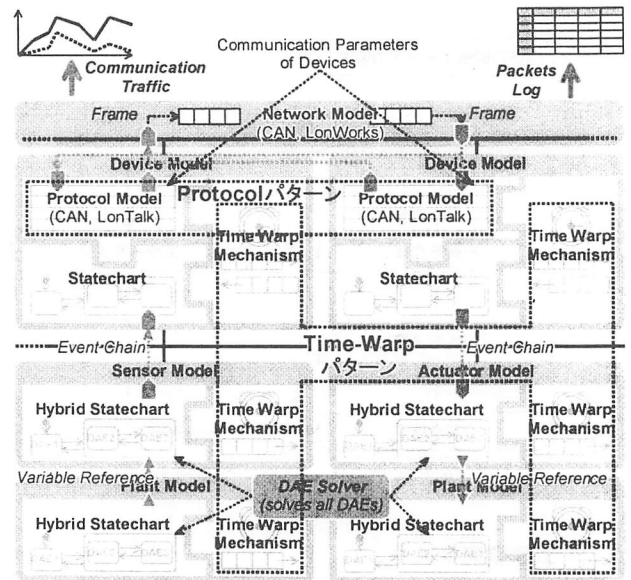


図 2. 本研究で提案する DCS シミュレーション手法

3. Protocol パターン

CAN は ISO11898³⁾ として標準化された車載 LAN の通信プロトコルである。CAN プロトコルにおいて同時送信が発生すると、ID が小さなフレームが優先送信される。

本報で新たに提案する Protocol パターンを図 3 に示す。CAN プロトコルの場合、図 3 の各抽象クラスに対して、CANProtocol, CANController, CANTransceiver, CANFrame, CANBus といった具象クラスが新たに定義される。

Protocol パターンを用いて実装される CAN プロトコルモデルの概要を図 4 に示す。各モデルは局所仮想時刻 (LVT)²⁾を各自で更新する。CAN プロトコルスタックのデータリンク層は CANController クラスで実装され、物理層は CANTransceiver, CANBus クラスで実装される。

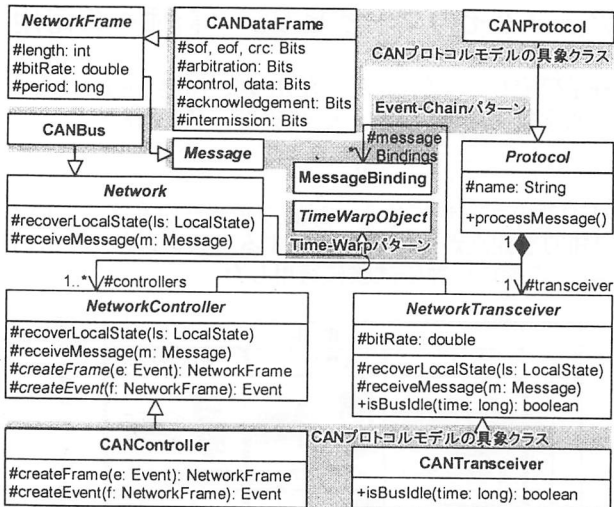


図 3. Protocol パターンの UML クラス図

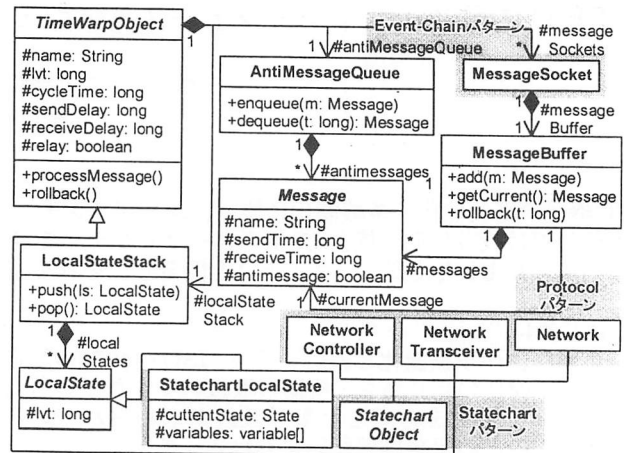


図 5. Time-Warp パターンの UML クラス図

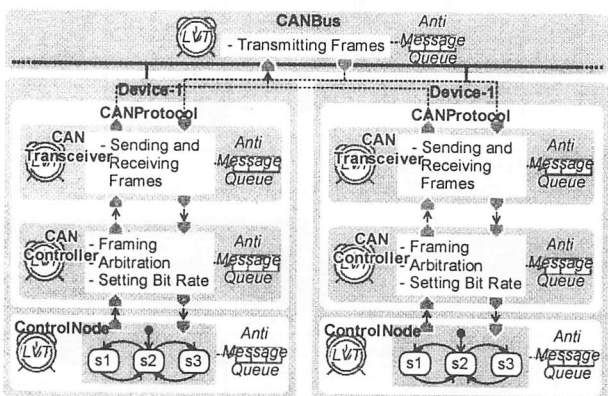


図 4. Protocol パターンに基づく CAN プロトコルモデル

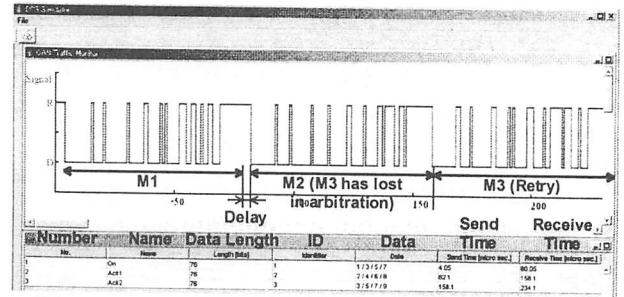


図 6. CAN を用いた DCS のシミュレーション結果

上記 (2), (3) は同時送信であるが, ID によるアービトレーションが行なわれ, 実際は(2), (3)の順で送信される。

図 6 のシミュレーション結果において, メッセージ順序が上記 (1)~(3)と一致する事が確認できた。実験結果のパケットログと図 6 を比較した結果, 送受信時刻や遅れに数十 ms の誤差があるが, 中速車載 LAN としては良好な相関性がある事から, 本手法は有用であると言える。

4. Time-Warp パターン

図 2 におけるシミュレーション機構を実現するための Time-Warp パターンの UML クラス図を図 5 に示す。ここで, 図 5 における各クラスの役割を以下に示す。

- TimeWarpObject: タイムワープ機構が組み込まれるモデルの抽象クラス。StatechartObject は Statechart 記述の動的挙動を持つモデルの抽象クラスである。
- MessageBuffer: モデル間で送受信されるメッセージ(イベントやフレーム)を格納しておくバッファ。
- LocalState, LocalStateStack: 各モデルの局所状態²⁾, および, 局所状態を LVT 順に格納しておくスタック。
- AntiMessageQueue: 送信済みメッセージの効果を取り消すアンチメッセージ²⁾を格納しておくキュー。

TimeWarpObject オブジェクトにおいて, メッセージの受信時刻が LVT より小さい時, または受信済みメッセージが取り消された時, LVT と局所状態が巻き戻される。これにより他のオブジェクトも連鎖して巻き戻される¹⁾。

5. DCS シミュレーションと実機 DCS の相関性検証

本報では, CAN デバイスによる通信実験結果とシミュレーション結果との相関性を検証する。実験におけるデバイス (Device1, 2, 3) 間の通信シーケンスを以下に示す。

- (1) Device1 がデータ長 1, ID=1 のメッセージ M1 を送信。
- (2) Device2 がデータ長 1, ID=2 のメッセージ M2 を送信。
- (3) Device3 がデータ長 1, ID=3 のメッセージ M3 を送信。

6. まとめ

本報では, DCS シミュレーション用プロトコルモデルおよびシミュレーション機構を記述するためのデザインパターンを提案し, そのシミュレーション結果と実機における通信との相関性を調べる事により, これらのパターンが DCS の通信特性予測に有用である事を示した。

参考文献

- [1] 戸村, 金井, 岸浪: ネットワーク通信特性予測が可能な分散制御システムのシミュレーション - CAN プロトコルモデルと実システムとの相関性評価 - , 2004 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.15-16, 2004.
- [2] D. R. Jefferson: Virtual Time, ACM Trans. on Programming Languages and Systems, Vol.7, No.3, pp. 404-425, 1985.
- [3] ISO11898 Road vehicles - Interchange of digital information - Controller area network (CAN) for high-speed communication, 1993.
- [4] 平山 弘: 微分代数方程式の解のべき級数展開法, Computer Algebra - Algorithms, Implementations and Applications 研究会報告集, pp.49-56, 2003.